

# Quantitative Estimation Method of Deep Sea Cobalt-rich Manganese Crust Distribution using Underwater Robots

著者	Umesh Neettiyath
発行年	2020-03-25
その他のタイトル	水中ロボットを用いたコバルトリッチマンガンクラストの定量的分布推定法
学位授与番号	17104甲生工第369号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/00007790">http://hdl.handle.net/10228/00007790</a>

氏名・(本籍)	Neettiyath Umesh (インド)		
学位の種類	博 士 ( 工 学 )		
学位記番号	生工博甲第369号		
学位授与の日付	令和2年 3月25日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	<b>Quantitative Estimation Method of Deep Sea Cobalt-rich Manganese Crust Distribution using Underwater Robots</b> (水中ロボットを用いたコバルトリッチマンガンクラストの 定量的分布推定法)		
論文審査委員会	委員長	我 妻 広 明	准教授
		石 井 和 男	教 授
		林 英 治	〃
		宮 本 弘 之	准教授

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

日本近海の深海底には、レアメタル、レアアースを含むマンガンクラストが存在することが知られているが、その分布、厚さ等について正確な情報は分かっていない。詳細な海底資源を調査するためには、水中ロボットの活用が必須である。これまでは調査船からのサンプリングにより頒布量を推定していたが、ピンポイントの情報であり精度に課題がある。本研究では、自律型、及び、遠隔操作型水中ロボットによって収集されたデータをもとに、コバルトリッチマンガンクラスト（以下、**Mn**）の分布を効率的にマップする方法を提案している。**Mn**の体積測定は、水中ロボットに搭載された高周波サブサーフェスソナー(音響装置)と3Dビジュアルマッピング装置を組み合わせで行う。この論文では、連続的な海底面下の**Mn**厚さ測定値と3Dマップで推定された海底面判別を組み合わせることにより、**Mn**分布を推定する自動**Mn**推定アルゴリズムを提案している。この方法を実海域深海底調査から収集されたデータに適用し、実際にサンプリングされた海底岩石と比較検証することにより提案システムの有効性を検証した論文となっている。

1章では、研究背景について述べている。**Mn**は、水深800～5500 mの海底マウン  
トにおいて発見されることが多い鉱物であり、海水中に溶存したマンガンが沈殿し、厚  
さ約250mmまで堆積したものが多く見つかっている。**Mn**にはコバルト、ニッケル、  
レアアース、レアメタル等が豊富に含まれており、深海採掘の対象資源となっている。  
また、何百万年もの海洋条件と古代甲殻類の化石等の歴史的な記録が含まれているため、  
科学的にも関心が高い対象である。これまで、深海底から実際にサンプルを収集するこ  
とによって**Mn**の研究が進められているが、サンプリングは数kmのオーダーの低い空

間分解能でのデータであり、Mn 分布の連続的な変化は計測できていない。Mn の厚さはサブボトムソナーの一般的な解像度と比較して薄いため、Mn の厚さを正確に測定するには、専用のセンサーを使用した深海底調査が必要である。従来法として、カメラを搭載した曳航体による調査、或いは、遠隔操作型水中ロボットの取得画像を用いて、Mn の埋蔵量を確認する手法が使用されているが、正確な厚さまたは体積の測定は出来ていない。提案手法では、画像から海底の状況を自動分類分類し、大量の海底データを分析して Mn 地殻被覆の厚さを推定する。3D カラーの海底画像は、Mn クラスト堆積物の画像特徴を用いて海底面を区別する。提案された方法は、Mn 地殻の調査に適した水中ロボットに搭載された高周波地表下ソナーと 3D ビジュアルマッピング機器を統合し収集されたデータを使用して、Mn 地殻の体積分布を推定する。

2 章では、本研究で提案する手法のアルゴリズムについて述べている。提案する手法は、Mn の水平方向の被覆率、Mn の厚さ情報を用いて単位質量被覆率（単位面積あたりのマンガンの質量）を測定する 3 つのアルゴリズムで構成されており、海底の広い領域に適用可能である。ビジュアルマッピング機器からは海底の形状の 3 次元復元およびテクスチャマッピングされた画像情報が得られる。この画像情報がサポートベクターマシン分類器に入力、分析され、Mn とその他の海底、等にクラスタリングした後に Mn 被覆率を推定する。次に、海底に露出した Mn エリアにおいて、海底面下の音響反射データを分析して Mn 地殻の連続的な厚さを測定する。ここで得られた Mn 厚さの測定値は、Mn 露出エリアの領域全体に外挿される。推定された厚さマップから、Mn 地殻の総体積が計算され、計測領域にわたって厚さの値を積分することによって埋蔵量を推定する。ここでは、実際にサンプルされた試料の Mn の密度が、質量計算に使用されている。

3 章では、実海域実験の結果をまとめている。2 章において提案した方法は、北西太平洋の 1350 m から 1600 m の深さの拓洋第五海山での 3 航海から収集されたフィールドデータに適用されている。計測領域は、12,510 m<sup>2</sup> のマッピングで全長約 11 km となっている。実海域実験から、調査対象地域の 52% が平均厚さ 69.6 mm の Mn クラストで覆われているとの推定結果が得られた。提案された手法を検証するために、厚さ推定結果とサンプリングされたマンガン地殻サンプルの厚さを比較し、一致しているとの結果が得られた。ロボットの航行軌跡に沿った Mn 被覆に関しては、地殻の被覆は大きく変動している。Mn 地殻の広い地域にわたる分布を正確に評価するには、より広域における現場調査が必要となる。提案された方法は、ヘクタール規模の地域におけるマンガンクラストの分布と在庫を効率的に推定するのに有効である。

4 章では、結論および考察となっている。提案手法は、ヘクタールスケール以上の面積の Mn クラストの体積分布推定値をセンチメートルの解像度での推定に適した方法である。3 次元海底形状推定とカラー画像から海底 3 次元形状、マンガンクラストの厚さが自動推定される手法を提案した。本研究は、海底形状情報と Mn 地殻分布の研究、

Mn 地殻形成の海洋プロセス、および深海採掘に関する政策決定と将来の行動方針の計画のために大きく貢献するものである。

### **学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨**

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。